

综述

PET/CT显像在鼻咽癌诊断中的研究与应用进展*

黄晓红 罗莉 游金辉*
川北医学院附属医院核医学科
(四川南充 637000)

【摘要】鼻咽癌(NPC)发病位置隐匿,通常发现时病情已进展到中晚期,其早诊早治对提高患者生存率、降低死亡率至关重要。¹⁸F-FDG PET/CT、PET/MR在鼻咽癌的诊治方面具有重要价值,目前已被推荐作为鼻咽癌诊断、分期、制定放疗计划及疗效评估等的重要检查方法。但¹⁸F-FDG PET/CT在鼻咽癌原发病灶侵犯范围、复发及肿瘤残留检测等方面存在不足。成纤维活化蛋白(FAP)是近年来发现的一种在上皮性恶性肿瘤中高表达的蛋白分子,在鼻咽癌中有很高的表达。以成纤维活化蛋白为靶点的FAP抑制剂(FAPI)具有良好的生物学特性,FAPI PET/CT在鼻咽癌的诊断中有良好的应用前景。本文简要综述PET/CT在鼻咽癌诊断中的应用与研究进展,以期提高鼻咽癌的早诊早治效能。

【关键词】鼻咽癌; 氟脱氧葡萄糖;
成纤维活化蛋白;
成纤维活化蛋白抑制剂; PET/CT;

【中图分类号】R445

【文献标识码】A

【基金项目】四川省自然科学基金
重点项目(2024NSFSC0668)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2026.03.051

The Investigation and Application Progress of PET/CT Imaging in the Diagnosis of Nasopharyngeal Carcinoma*

鼻咽癌(nasopharyngeal carcinoma, NPC)是一种发生于鼻咽黏膜的上皮性恶性肿瘤,可分为角化鳞状细胞癌、非角化鳞状细胞癌和基底样鳞状细胞癌等三种病理类型,其中非角化型鳞状细胞癌最为常见,可分为分化型和未分化型两种亚型。鼻咽癌具有显著的地理分布差异,男性患病率显著高于女性^[1]。

鼻咽癌因发病位置隐匿,不易被发现,初诊或复发的患者得到确诊时通常病情已到中晚期,对患者的生存预后十分不利。因此早期诊断对提高鼻咽癌患者的生存及生活质量至关重要。电子鼻咽镜下行病理活检是诊断鼻咽癌的金标准。但由于鼻咽癌发病位置隐匿,且部分病灶在鼻咽内镜下表现不典型,诊断仍存在一定困难。电子鼻咽镜窄带成像技术(narrow band imaging, NBI)联合苯胺蓝染色可明显提高早期鼻咽癌的诊断率^[2]。血清标志物联合检测被认为可以提高鼻咽癌诊断效能。EBV抗体(如早期抗原[EA-IgA]、抗EBV衣壳抗原[VCA-IgA]、抗EBV核抗原1[EBNA1-IgA]等)是鼻咽癌细胞分化的产物,临床上多通过多种抗体联合检测提高鼻咽癌诊断效能,但其敏感性、特异性低^[3]。EBV DNA检测在诊断鼻咽癌方面比EBV抗体检测具有更高的敏感性和特异性^[4]。

目前常用于鼻咽癌诊断及最新TNM(tumor node metastasis)分期的影像学方法主要包括电子计算机断层扫描(computed tomography, CT)、磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)、正电子发射断层显像/计算机断层扫描(positron emission tomography/computed tomography, PET/CT)等。

1 CT与MRI

CT是诊断鼻咽癌常用检查方法之一,在评估检测鼻咽癌患者骨骼病变、血管侵犯病灶以及可疑小淋巴结转移等方面具有一定优势^[5]。MRI是目前鼻咽癌诊断、分期、疗效评估等最常用的影像学检查方法,因其良好的软组织分辨率,在鼻咽癌原发病灶、咽旁间隙等邻近软组织浸润、淋巴结转移、颅底侵犯等病灶的检测及边界的清楚勾画上具有很高的敏感性和特异性,已取代CT成为诊断鼻咽癌的首选检查方法,被认为是诊断评估鼻咽癌的“金标准”,对勾画鼻咽癌放疗靶区确定放疗计划具有指导意义^[1]。有研究发现MRI检查可以在电子鼻咽镜下发现病灶之前三年检测到鼻咽癌病灶^[6]。蔡娟等^[7]分析CT和MRI在鼻咽癌诊断效能的研究中发现, MRI在鼻咽部(如咽旁间隙、颞下窝等)、颅底部(如蝶骨大翼、卵圆孔)等病灶的检测准确度明显高于CT($P < 0.05$),并且MRI的漏诊率、误诊率也显著低于CT。彭少华等^[8]的研究也发现MRI在鼻咽癌患者鼻咽部、颅底部侵犯的敏感度、特异度以及准确度均明显高于CT($P < 0.05$);此外,该研究还发现,在淋巴结转移灶的检测上, MRI的敏感度、特异度、准确度同样优于CT。张健楠^[9]、常小龙^[10]也得出与上述学者相同的结论。

2 ¹⁸F-FDG PET/CT与PET/MR

¹⁸F-FDG PET/CT不仅能提供恶性肿瘤的解剖信息,还能体现肿瘤的代谢功能,可以反映肿瘤生物学行为并预测治疗结果,是诊断、评估、疾病鉴别的良好全身检查。¹⁸F-FDG PET/CT目前已被推荐作为鼻咽癌诊断、分期、制定放疗计划及疗效评估等的重要检查方法,尤其是在鼻咽癌远处转移灶的检测方面,¹⁸F-FDG PET/CT被认为优于MRI及CT检查^[11]。Tang等^[1]发现PET/CT软组织分辨率较MRI差,在鼻咽癌原发病灶侵犯范围、复发及肿瘤残留检测等方面MRI略胜一筹;但由于PET/CT显像具有体现独特的代谢信息的特点,在疾病检测方面具有更高的敏感性和特异性,尤其是在鼻咽癌隐匿原发病灶、远处转移、小淋巴结转移、复发、放疗后肿瘤残留或纤维化的鉴别等方面,PET/CT是优于MRI的。Li等^[12]的研究也发现PET/CT在鼻咽癌TNM分期方面具有更高的敏感性、特异性、准确性、阳性预测值和阴性预测值。因此,临床多建议将MRI与¹⁸F-FDG PET/CT联合应用于鼻咽癌的诊断、分期与疗效评估。

Xiao等^[13]对218例同时进行了¹⁸F-FDG PET/CT和MRI检查的I-II期鼻咽癌患者的资料

【第一作者】黄晓红,女,讲师,主要研究方向:临床核医学。E-mail: huangxiaohong2@126.com

【通讯作者】游金辉,男,教授,主要研究方向:临床核医学。E-mail: youjh@126.com

进行回顾性分析,结果显示在T分期上, ^{18}F -FDG PET/CT是弱于MRI的;在N分期上, ^{18}F -FDG PET/CT在咽后淋巴结转移检测方面的敏感性、特异性均低于MRI(72.2%vs91.1%,88.5%vs90.6%),但在颈部淋巴结转移检测方面, ^{18}F -FDG PET/CT的敏感性优于MRI(96.6%vs76.4%, $P<0.001$)。Yang等^[14]回顾性分析了336例行 ^{18}F -FDG PET/CT与MRI检查的鼻咽癌患者的460个颈部淋巴结的活检情况,结果显示, ^{18}F -FDG PET/CT在颈部淋巴结转移检测上优于MRI,具有更高的灵敏度(96.7% vs 88.5%, $P<0.001$),这与Xiao^[13]的结论相似。此外,Yang^[14]还比较分析了同时行 ^{18}F -FDG PET/CT与MRI检查的1093例鼻咽癌患者和1377例仅接受MRI检查的鼻咽癌患者的检查情况,通过统计分析上述鼻咽癌患者的总生存期及预后情况,认为与单纯接受MRI检查相比,同时接受 ^{18}F -FDG PET/CT与MRI检查可延长鼻咽癌患者的生存期和提高预后。在最近一项研究中,Li G等^[15]对51例鼻咽癌患者进行动态 ^{18}F -FDG PET/CT扫描,并与静态扫描及MRI对比,发现在可疑淋巴结SUVmax <4.5 且淋巴结大小 $<1\text{cm}$ 时,动态PET/CT往往可以区分其良恶性。

研究显示, ^{18}F -FDG PET/CT在鼻咽癌远处转移病灶的检测方面优于MRI等常规检查^[16]。张纯静^[17]等分析了90例鼻咽癌儿童患者行 ^{18}F -FDG PET/CT及常规检查(MRI、胸部X线)在远处转移灶中的诊断效能,研究结果显示, ^{18}F -FDG PET/CT检查在肝、肺、骨、纵隔等远处转移方面的准确性、灵敏度及特异度均明显高于常规检查组($P<0.05$)。由于 ^{18}F -FDG在大脑区域的生理摄取高,图像分辨率相对较低, ^{18}F -FDG PET/CT在评估颅内疾病方面具有一定局限性。近年来的研究显示, ^{18}F -FDG PET/MR图像被证明比 ^{18}F -FDG PET/CT图像更准确地定位颅内侵犯^[18]。段影等^[19]回顾性分析 ^{18}F -FDG PET/MR在78例鼻咽癌患者分期中的价值时发现,PET/MR分期与临床分期诊断一致性较高(Kappa值=0.926),差异有统计学意义($P<0.01$)。此外,也有研究显示^[20],与全身MRI检查和PET/CT检查相比,PET/MRI对于鼻咽癌远处转移灶的评估具有相似的灵敏度(PET/MRI vs MRI vs PET/CT,90.0% vs 86.7% vs 83.3%),但PET/MRI阳性预测值更高(PET/MRI vs MRI vs PET/CT,93.1% vs 78.8% vs 83.3%)。

^{18}F -FDG PET/CT的相关参数,如标准化摄取值(standardized uptake value, SUV)、肿瘤代谢体积(metabolic tumor volume, MTV)、病灶糖酵解总量(total lesion glycolysis, TLG)等,对疾病的诊断具有重要参考意义。据报道, ^{18}F -FDG PET/CT的原发肿瘤的TLG与肿瘤负荷和肿瘤分期显著相关,转移淋巴结的SUVmax等可作为鼻咽癌患者判断预后的因素之一^[16]。段影^[19]也发现, ^{18}F -FDG PET/CT的SUVmax和MRI的表现扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)与鼻咽癌的分期密切相关,其中SUVmax/ADCmin在T分期上的诊断效能最高,明显高于其中任一单独参数。Qiu等^[21]回顾性分析了369例行PET/CT检查的鼻咽癌患者,鼻咽癌原发病灶及淋巴结转移灶的SUVmax与局部复发或区域转移有显著相关性,SUVmax越高,T分期及N分期也随之增加。

可见, ^{18}F -FDG PET/CT、PET/MR在鼻咽癌的诊断、分期、鉴别诊断及预后判断等方面具有重要价值,并且与MRI检查进行联合诊断可提高鼻咽癌的诊断效能。

3 ^{68}Ga -FAPI PET/CT与FAPI PET/MR

成纤维细胞活化蛋白(fibroblast-activated protein, FAP)是一种膜锚定肽酶,是由760个氨基酸组成的II型跨膜糖蛋白^[22]。通常

认为FAP仅在胚胎组织、生理重建器官、愈合伤口和炎症组织中表达;研究显示,FAP在90%的上皮性肿瘤组织和50~95%肿瘤间质器官中表达,如鼻咽癌、肺癌、乳腺癌、结肠直肠癌等^[23]。FAP通过多种机制影响肿瘤生长,包括促进增殖、侵袭、血管生成、上皮细胞向间质细胞转化、干细胞促进、避免免疫监视等。在恶性肿瘤中,FAP不是在肿瘤细胞上表达,而是主要在与上皮性癌症相关的基质成纤维细胞(cancer-associated fibroblasts, CAFs)中高表达^[24]。研究表明CAF在肿瘤中的作用是可以改变肿瘤微环境,被认为与肿瘤的发生、进展和转移有关^[25]。包含鼻咽癌在内的多数上皮恶性肿瘤或纤维化疾病等通常表现为表达FAP的活化成纤维细胞数量增加,而大多数成人器官的正常细胞间质中,静息成纤维细胞仅含有少量低表达FAP或无法检测到FAP,具有很强的特异性,这使FAP可以成为癌症治疗中一个新靶点^[26]。

近年来,一种基于(4-喹啉基)甘氨酸-2-氰基吡咯烷(glycyl-2-cyanopyrrolidine)的有机小分子被称为FAP抑制剂(FAP-inhibitor, FAPI),对FAP具有良好的亲和力,可被 ^{68}Ga 、 ^{18}F 、 ^{90}Y 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{64}Cu 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 等不同的放射性核素标记,并被应用于各种类型癌症的诊断成像和放射性核素治疗中^[27-29]。FAPI具有良好的药代动力学及生物学分布,灵敏度高,在多种常见的实体恶性肿瘤中具有非常清晰的肿瘤轮廓和很高的肿瘤背景比^[30-32]。研究显示,FAPI在肿瘤组织中摄取高,在脑、肝、口腔及咽黏膜背景摄取低,为PET/CT显像提供了高对比度^[22]。与 ^{18}F -FDG PET/CT相比,FAPI PET/CT检查具有与血糖无关、癌症谱更广、肿瘤背景比更高等优点,且FAPI PET/CT成像开始图像采集的时间比 ^{18}F -FDG PET/CT成像更早^[14]。

Ding等^[33]在对28例鼻咽癌患者分别进行 ^{68}Ga -FAPI-04 PET/CT和 ^{18}F -FDG PET/CT显像的研究中发现,在原发病灶方面, ^{68}Ga -FAPI-04 PET/CT检出率高于 ^{18}F -FDG PET/CT(100%vs96%);在咽旁间隙、颅底及颅内侵犯方面, ^{68}Ga -FAPI-04 PET/CT均优于 ^{18}F -FDG PET/CT。Zhao等^[34]报道, ^{68}Ga -FAPI PET/CT在鼻咽癌原发病灶的检测(39例vs38例)、原发肿瘤病灶的SUVmax(16.18vs10.11)和TLG(93.95vs50.90)均优于 ^{18}F -FDG PET/CT。Qin等^[35]的研究得出相似结论。

在鼻咽癌转移淋巴结检测方面,Ding等^[33]发现 ^{68}Ga -FAPI-04 PET/CT(263/285)与MRI(262/285)检测效能相似,优于 ^{18}F -FDG PET/CT(228/285);但 ^{18}F -FDG PET/CT转移淋巴结的SUVmax值略高于 ^{68}Ga -FAPI-04 PET/CT。Zhao等^[34]的研究得出相似结论。但Qin^[35]对14例有可疑淋巴结转移的鼻咽癌患者进行PET/MR检查的研究结果显示, ^{18}F -FDG PET/MR共检测出100个淋巴结,而 ^{68}Ga -FAPI PET/MR仅检测出48个淋巴结,其中11例患者的 ^{18}F -FDG PET/MR检查优于 ^{68}Ga -FAPI PET/MR,3例患者的两种检查效能相似。

在远处转移灶检测方面,Ding等^[33]的研究中有4例鼻咽癌患者发现7个远处转移灶,包括3个肺转移灶和4个骨转移灶,其中1例患者同时发生肺转移及骨转移,该研究结果显示, ^{68}Ga -FAPI-04 PET/CT在2处肺转移灶上显示阴性结果, ^{18}F -FDG PET/CT(7/7)优于 ^{68}Ga -FAPI-04 PET/CT(5/7)。但Zhao^[34]和Qin^[35]的研究结果显示与其相反的结论,即 ^{68}Ga -FAPI PET/CT或PET/MR优于 ^{18}F -FDG PET/CT或PET/MR。

^{68}Ga -FAPI PET/CT在鼻咽癌的诊断及TNM分期方面可能优于 ^{18}F -FDG PET/CT,但由于上述相关研究较少且研究病例较少,其诊断效能优于 ^{18}F -FDG PET/CT的观点尚不能被明确证实。

4 问题与展望

¹⁸F-FDG PET/CT与CT、MRI在鼻咽癌的临床诊断与分期、预后判断等方面都具有重要意义,各有优势。FAPI是近年出现的一种新型PET/CT显像剂,在鼻咽癌的诊断与应用研究中表现出了较高的敏感性,具有良好的应用前景,有望作为诊断鼻咽癌的常规影像学方法之一。现有研究显示⁶⁸Ga-FAPI PET/CT的诊断效能可能优于¹⁸F-FDG PET/CT,并且在病灶检测上表现出与MRI检查相似的诊断效能,甚至在远处转移灶方面优于MRI,但由于上述研究的病例数较少,68Ga-FAPI PET/CT对鼻咽癌的诊断效能尚不能被明确,¹⁸F-FDG PET/CT的表现又会如何,都有待多中心、大样本的进一步研究以证实其诊断效能。PET/CT相关参数,如SUVmax、TLG等被证实与鼻咽癌分期及预后具有一定关系,能否联合血清表皮生长因子(epidermal growth factor, EGF)、可溶性成纤维细胞活化蛋白(soluble fibroblast activation protein, sFAP)水平与PET/CT相关参数实现对鼻咽癌患者的早期诊断、明确分期、预后预测等目的,降低鼻咽癌患者死亡率,提高生存率,需要更多、更进一步的研究与探索。以FAP为靶点的FAP靶向放射配体治疗(FAP targeted radioligand therapy, FAP TRT)有可能成为多种恶性肿瘤包括鼻咽癌的又一有效治疗方法。但目前有关FAP靶向治疗的临床前研究及临床研究极少^[29],未来仍需要更多病理种类及病例数量的临床研究来进一步探讨FAP TRT对恶性肿瘤的治疗效果。

参考文献

- [1] Tang LL, Chen YP, Chen CB, et al. The Chinese Society of Clinical Oncology (CSCO) clinical guidelines for the diagnosis and treatment of nasopharyngeal carcinoma [J]. *Cancer Commun (Lond)*, 2021, 41 (11): 1195-1227.
- [2] 薛晓成, 申学良, 陈晓平, 等. 窄带成像技术联合苯胺蓝染色在鼻咽癌内镜诊断中的价值 [J]. *海军军医大学学报*, 2023, 44 (6): 754-758.
- [3] 张静, 谷秀梅, 邓红玉, 等. 血清EB病毒抗体EA-IgA、VCA-IgA和Rta-IgG联合检测在鼻咽癌诊断中的意义 [J]. *实用预防医学*, 2021, 28 (1): 44-47.
- [4] 秦悦, 王帅, 刘雯. 血清EBV抗体及其DNA联合检测对鼻咽癌诊断价值 [J]. *青岛大学学报 (医学版)*, 2023, 59 (1): 64-67.
- [5] 刘冬梅, 于含强. CT与MRI技术诊断鼻咽癌的临床意义分析 [J]. *中国医学文摘 (耳鼻咽喉科学)*, 2023, 38 (6): 97-99, 96.
- [6] King AD. MR imaging of nasopharyngeal carcinoma [J]. *Magn Reson Imaging Clin N Am*, 2022, 30 (1): 19-33.
- [7] 蔡娟, 雍敏, 杨月娥, 等. CT与MRI在鼻咽癌诊断治疗中的应用分析 [J]. *中国医学文摘 (耳鼻咽喉科学)*, 2023, 38 (3): 63-65.
- [8] 彭少华, 南燕, 王成伟. CT与MRI对鼻咽癌局部侵犯临床诊断的敏感度、特异度、准确度分析 [J]. *中国医学文摘 (耳鼻咽喉科学)*, 2023, 38 (3): 59-62.
- [9] 张健楠, 张桂荣, 张妍妍, 等. 鼻咽癌颅底骨质侵犯的CT与MRI征象及其诊断价值 [J]. *分子影像学杂志*, 2023, 46 (5): 853-857.
- [10] 常小龙. 鼻咽癌颅底骨质侵犯临床诊断中MRI与CT检查的作用 [J]. *中国医学文摘 (耳鼻咽喉科学)*, 2023, 38 (4): 21-23.
- [11] Bossi P, Chan AT, Licitra L, et al. Nasopharyngeal carcinoma: ESMO-EURACAN clinical practice guidelines for diagnosis, treatment and follow-up [J]. *Ann Oncol*, 2021, 32 (4): 452-465.
- [12] Li H, Kong Z, Xiang Y, et al. The role of PET/CT in radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma [J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 1017758.
- [13] Xiao BB, Chen QY, Sun XS, et al. Low value of whole-body dual-modality [¹⁸F] fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography in primary staging of stage I-II nasopharyngeal carcinoma: a nest case-control study [J]. *Eur Radiol*, 2021, 31 (7): S222-S233.
- [14] Yang S-S, Wu Y-S, Chen W-C, et al. Benefit of [¹⁸F]-fdg PET/CT for treatment-naïve nasopharyngeal carcinoma [J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2022, 49 (3): 980-991.
- [15] Li G, Yang S, Wang S, et al. Diagnostic value of dynamic¹⁸f-

- fluorodeoxyglucose positron emission tomography-computed tomography (¹⁸F-FDG PET-CT) in cervical lymph node metastasis of nasopharyngeal cancer [J]. *Diagnostics (Basel)*, 2023, 13 (15): 2530.
- [16] Xie C, Vardhanabhuti V. PET/CT: Nasopharyngeal cancers [J]. *PET Clin*, 2022, 17 (2): 285-296.
- [17] 张纯静, 韩富根, 朱卿文. PET-CT与常规检查在鼻咽癌远处转移诊断和分期中的应用研究 [J]. *临床研究*, 2023, 31 (06): 26-29.
- [18] Guzmán Pérez-Carrillo GJ, Ivanidze J. PET/CT and PET/MR Imaging of the post-treatment head and neck: traps and tips [J]. *Neuroimaging Clin N Am*, 2022, 32 (1): 111-132.
- [19] 段影, 于亚斌, 赵建秀, 等. (18F)-FDG PET/MR在鼻咽癌分期中的价值研究及半定量分析 [J]. *临床放射学杂志*, 2023, 42 (09): 1403-1408.
- [20] 杨露, 章平川, 彭凡禹, 等. 初诊远处转移性鼻咽癌的诊疗研究进展 [J]. *肿瘤学杂志*, 2022, 28 (5): 416-423.
- [21] Qiu X, Wu H, Xu T, et al. Reflecting on the utility of standardized uptake values on ¹⁸F-FDG PET in nasopharyngeal carcinoma [J]. *BMC Cancer*, 2022, 22 (1): 495.
- [22] Altmann A, Haberkorn U, Siveke J. The latest developments in imaging of fibroblast activation protein [J]. *J Nucl Med*, 2021, 62 (2): 160-167.
- [23] Simková A, Bušek P, Šedo A, et al. Molecular recognition of fibroblast activation protein for diagnostic and therapeutic applications [J]. *Biochim Biophys Acta Proteins Proteom*, 2020, 1868 (7): 140409.
- [24] Dendl K, Koerber SA, Kratochwil C, et al. FAP and FAPI-PET/CT in malignant and non-malignant diseases: a perfect symbiosis? [J]. *Cancers (Basel)*, 2021, 13 (19): 4946.
- [25] Chen Y, McAndrews KM, Kalluri R. Clinical and therapeutic relevance of cancer-associated fibroblasts [J]. *Nat Rev Clin Oncol*, 2021, 18 (12): 792-804.
- [26] Kuyumcu S, Sanli Y, Subramaniam RM. Fibroblast-activated protein inhibitor PET/CT: cancer diagnosis and management [J]. *Front Oncol*, 2021, 11: 758958.
- [27] Huang R, Pu Y, Huang S, et al. FAPI-PET/CT in cancer imaging: a potential novel molecule of the century [J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 854658.
- [28] Watabe T, Liu Y, Kaneda-Nakashima K, et al. Theranostics targeting fibroblast activation protein in the tumor stroma: ⁶⁴Cu- and ²²⁵Ac-labeled FAPI-04 in pancreatic cancer xenograft mouse models [J]. *J Nucl Med*, 2020, 61 (4): 563-569.
- [29] Privé BM, Boussihmad MA, Timmermans B, et al. Fibroblast activation protein-targeted radionuclide therapy: background, opportunities, and challenges of first (pre)clinical studies [J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2023, 50 (7): 1906-1918.
- [30] 谈健伶, 兰晓莉, 张永学. 放射性核素标记的成纤维细胞活化蛋白靶向分子探针的研究进展 [J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2021, 41 (3): 180-184.
- [31] Pang Y, Zhao L, Luo Z, et al. Comparison of ⁶⁸Ga-FAPI and ¹⁸F-FDG uptake in gastric, duodenal, and colorectal cancers [J]. *Radiology*, 2021, 298 (2): 393-402.
- [32] Shi X, Xing H, Yang X, et al. Comparison of PET imaging of activated fibroblasts and ¹⁸F-FDG for diagnosis of primary hepatic tumours: a prospective pilot study [J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2021, 48 (5): 1593-1603.
- [33] Ding H, Liang J, Qiu L, et al. Prospective comparison of ⁶⁸Ga-FAPI-04 and ¹⁸F-FDG PET/CT for tumor staging in nasopharyngeal carcinoma [J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 1047010.
- [34] Zhao L, Pang Y, Zheng H, et al. Clinical utility of [⁶⁸Ga]Ga-labeled fibroblast activation protein inhibitor (FAPI) positron emission tomography/computed tomography for primary staging and recurrence detection in nasopharyngeal carcinoma [J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2021, 48 (11): 3606-3617.
- [35] Qin C, Liu F, Huang J, et al. A head-to-head comparison of ⁶⁸Ga-DOTA-FAPI-04 and ¹⁸F-FDG PET/MR in patients with nasopharyngeal carcinoma: a prospective study [J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2021, 48 (10): 3228-3237.

(收稿日期: 2024-11-17)

(校对: 韩敏求 排版: 张鸿燊)